

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 692 369

(21) N° d'enregistrement national :

92 07112

(51) Int Cl<sup>3</sup> : G 02 B 23/04, F 41 H 13/00

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 12.06.92.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 17.12.93 Bulletin 93/50.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : Société dite: THOMSON-CSF  
(Société Anonyme) — FR.

(72) Inventeur(s) : Rollin Joël, Rabault Denis et Pepin  
Christian.

(73) Titulaire(s) :

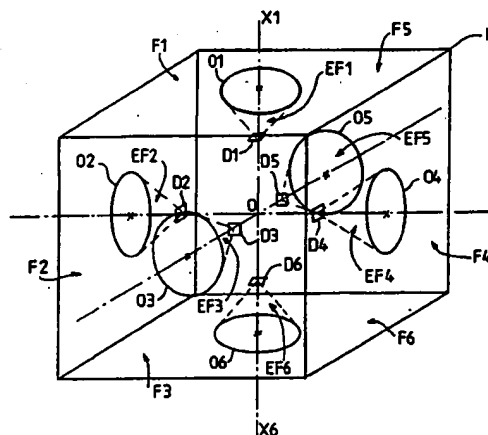
(74) Mandataire : Schwartz Thierry.

(54) Dispositif de veille omnidirectionnel à couverture optimale de l'espace environnant par jonction de champs.

(57) L'invention concerne un dispositif de veille omnidirectionnel couvrant tout l'espace environnant avec un taux de recouvrement optimal.

Ce dispositif comporte des modules de détection comportant, chacun, un objectif grand angulaire (O1 à O6) associé à un détecteur bidimensionnel (D1 à D6). La loi de distorsion des objectifs grand angulaire est choisie pour que les champs couverts par deux modules de détection voisins soient jointifs.

Application à la détection de points chauds, tels que missiles ou propulseurs, dans les bandes spectrales infrarouges.



FR 2 692 369 - A1



DISPOSITIF DE VEILLE OMNIDIRECTIONNEL A COUVERTURE  
OPTIMALE DE L'ESPACE ENVIRONNANT PAR JONCTION DE  
CHAMPS.

L'invention se rapporte au domaine de la prise de vue ou de l'observation nécessitant une couverture angulaire importante. De telles observations sont requises, par exemple, lorsqu'il s'agit d'effectuer de la veille ou de la surveillance panoramique. Le domaine spectral concerné est celui des radiations visibles ou infrarouges suivant les conditions de fonctionnement (de nuit, de jour, dans l'espace, au sol). Le choix du type de détecteurs utilisés (détecteurs CCD au silicium, détecteurs hybrides infrarouges, intensificateurs de lumière, tube vidicon, etc...) est alors déterminé en fonction notamment de la coïncidence entre son domaine spectral de sensibilité et le domaine des radiations visé.

L'objet de l'invention concerne, plus particulièrement, un dispositif de veille omnidirectionnelle couvrant la totalité de l'espace environnant à l'aide de champs d'observation jointifs.

L'invention s'applique aussi bien à la veille aéroportée que terrestre, sans limitation du domaine spectral :

- en veille aéroportée, l'observation couvre alors  $4\pi$  stéradians ;
- en version sol-air, la couverture est alors limitée au demi espace supérieur ;
- la bande spectrale couverte est fonction du type de mission dédiée : par exemple, la bande spectrale concernée est 3 - 5  $\mu\text{m}$  par la mise en oeuvre d'un détecteur au platine-silicium (Pt-Si) lorsque l'on s'at-

tache plus particulièrement à la détection de points chauds, tels que des missiles ou des propulseurs.

Pour obtenir une couverture d'espace angulaire importante, deux méthodes sont à l'heure actuelle  
5 utilisées. Ces méthodes d'observation s'analysent tant sur le plan de la couverture spatiale fournie, que sur le plan de la résolution angulaire et de la cadence d'exploration obtenues.

La première méthode consiste à associer un  
10 objectif fixe à très grand champ, appelée classiquement "fish eye" dans le domaine de la photographie, à un détecteur bidimensionnel de type matriciel. L'utilisation dans la bande infrarouge d'un tel objectif (avec un champ de  $112^\circ$  et une ouverture à  $F/1,2$ ) associée à  
15 une matrice détectrice Pt-Si de  $512 \times 512$  capteurs élémentaires est décrite dans le Journal SPIE volume 1488, pages 368 à 375.

L'avantage principal de cette méthode réside dans le fait qu'elle permet de s'affranchir de  
20 l'utilisation d'un dispositif de balayage optomécanique : en effet, un détecteur matriciel capte directement toute l'image de la scène observée, sans nécessiter de balayage par projection de cette image sur le détecteur à l'aide d'un groupe optique de focali-  
25 sation adapté. L'exploration du paysage peut ainsi s'effectuer à une cadence très élevée, limitée seulement par les temps d'intégration des charges libérées au niveau du capteur proportionnellement à l'éclairement qu'il reçoit, selon la technique CCD bien connue.

30 L'inconvénient majeur de ce type de solution est sa faible résolution angulaire. La résolution angulaire se définit classiquement comme l'angle minimal pour lequel deux objets, situés à une distance correspondant à une portée donnée, sont vus distinctement  
35 par un même capteur. Plus le champ à couvrir est impor-

tant, plus la résolution est médiocre. Dans le cas de détecteurs matriciels et pour un champ donné, la résolution est en fait directement limitée par la surface des capteurs élémentaires du détecteur matriciel et donc, pour une matrice de dimension donnée, par le nombre de capteurs élémentaires dans cette matrice. D'autre part, cette résolution ne peut être considérée comme constante que le long du champ, c'est-à-dire pour les capteurs situés au centre de la matrice et dont les champs objets conjugués ne subissent pratiquement pas de distorsion.

Une deuxième méthode, plus classiquement utilisée dans le domaine de l'infrarouge, met en oeuvre un système optomécanique de balayage associé à un détecteur permettant de couvrir un champ plus large.

Le détecteur se présente alors sous la forme d'une barrette longitudinale comportant un nombre réduit de rangées de capteurs élémentaires. Le système optomécanique effectue le balayage de la barrette sur une image intermédiaire formée par un système optique de tête qui, suivant les dimensions de la barrette, est effectué selon une direction (balayage trame) ou deux directions (balayage ligne et trame). Le balayage est réalisé à l'aide d'un miroir oscillant ou d'un prisme tournant avec une certaine période définissant la cadence de balayage. Il a été par exemple réalisé un système à tête de balayage par miroir assurant une couverture de  $120^\circ \times 80^\circ$  dans le domaine des radiations infrarouges à une cadence de 2 hertz. Un système à balayage par prisme est par ailleurs décrit dans le Journal SPIE volume 782, pages 300, 38 et suivantes. Ce prisme assure une exploration de 3,3 stéradians à une fréquence de 3,6 hertz.

Les inconvénients des systèmes basés sur une exploration par balayage sont multiples :

- les cadences d'exploration sont faibles : elles sont limitées par les besoins en portée qui imposent un champ objet élémentaire exploré faible durant le temps d'intégration des charges du détecteur ; la résolution que doit fournir le système (typiquement  $0,5^\circ$ ) ne peut dès lors être atteinte qu'au détriment de la vitesse de balayage ;

- les rendements de balayage sont médiocres : au cours du balayage, les capteurs élémentaires voisins sont amenés à "voir" des portions d'espace identiques de sorte que la couverture angulaire de l'espace n'est pas optimale ; de même l'obtention d'une résolution constante dans le champ impose généralement des rendements de balayage faible ;

- ce type de système à très large champ de vision nécessite des hublots de fermeture (dômes) de réalisation complexe et de coût élevé.

Mais, que ce soit avec ou sans système opto-mécanique de balayage, les systèmes antérieurs n'offrent pas une couverture totale de tout l'espace environnant. Afin d'obtenir une telle couverture, avec une bonne résolution angulaire et à une cadence de "rafraîchissement" d'image élevée, l'invention propose d'utiliser plusieurs objectifs à grand champ du type "fish eye", chaque objectif étant associé à un détecteur bidimensionnel pour former un module de détection, l'ensemble des modules de détections couvrant de manière optimale un espace objet de dimension aussi grande que voulue ; de plus, la distorsion de chaque objectif est adaptée de manière à rendre les champs objets de deux mosaïques détectrices jointives sans se chevaucher, le nombre de modules de détection étant déterminé en fonction de l'espace à couvrir.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif de veille omnidirectionnel à couverture

optimale de l'espace environnant par jonction de champs, comportant des moyens optiques de formation d'images sur au moins un détecteur bidimensionnel du type CCD capable de délivrer un signal vidéo de visuali-  
5 sation de l'image projetée, caractérisé en ce que les moyens optiques comprennent plusieurs objectifs grand angulaire de type "fish eye", chaque objectif grand angulaire étant associé à un détecteur bidimensionnel pour former un module de détection, en ce que le nombre  
10 de modules de détection est adapté à la dimension globale de l'espace environnant à couvrir, et en ce que chaque objectif grand angulaire possède une loi de distorsion choisie pour rendre jointifs les champs objets limités couverts par deux détecteurs voisins.

15 Selon une forme de réalisation, le dispositif de veille omnidirectionnelle selon l'invention couvre une sphère objet complète, c'est-à-dire un angle solide de  $4\pi$  stéradians, à l'aide de six objectifs grands angulaires associés à six détecteurs pour former  
20 six modules de détection disposés sur les faces d'un cube.

Le dispositif selon l'invention offre une résolution angulaire satisfaisante et uniforme quelle que soit la position de l'objet observé dans l'espace  
25 environnant. En effet, la multiplication du nombre d'objectifs restreignant le champ couvert par chacun, par exemple de l'ordre de 2 stéradians dans la forme de réalisation proposée, la résolution angulaire n'est pas entachée ( $<0,5^\circ$ ) et reste uniforme du fait de la distor-  
30 sion relativement conservative des objectifs grand angulaire utilisés.

L'invention autorise des cadences d'exploration importantes (100 Hz à 1 KHz) pour une complexité mécanique minimale, sans nécessiter de dôme de ferme-  
35 ture de conception délicate, ni de système de balayage.

Avantageusement, lorsque les détecteurs présentent des taux de remplissage de capteurs élémentaires insuffisants, il est adjoint à chaque détecteur un élément de microbalayage, du type à lame tournante, pour supprimer les zones de l'espace objet rendues inac-

5 cessibles du fait de l'existence de zones aveugles situées entre les capteurs élémentaires du détecteur.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui suit, faite en référence

10 aux figures annexées qui représentent respectivement :

- à la figure 1, un exemple d'objectif grand angulaire de type "fish eye" utilisé par l'invention ;

15 - à la figure 2, un mode de réalisation de l'invention permettant de couvrir un espace de  $4\pi$  stéradians ;

- à la figure 3, un schéma illustrant la couverture angulaire d'un objectif grand angulaire lorsque les champs couverts par deux objectifs voisins du

20 dispositif selon l'invention sont jointifs ;

- à la figure 4, une lame à faces parallèles de microbalayage pour un détecteur bidimensionnel ;

- aux figures 5a à 5d, quatre positions

25 d'un capteur élémentaire du même détecteur bidimensionnel au cours du microbalayage.

Un exemple d'architecture optique d'un objectif grand angulaire de type "fish eye", opérant dans la bande spectrale 3 à 5  $\mu\text{m}$ , est fournie à la figure 1. Cet objectif comporte un groupe optique d'entrée divergent 1 associé, le long d'un même axe optique

30 XX', à un second groupe optique globalement convergent 2. Un tel objectif ouvert à F/1 couvre un champ de  $110^\circ$  ; les rayons lumineux provenant de ce champ tels que ceux symbolisés par des traits fléchés sur la fi-

35

gure 1, traversent les groupes optiques 1 et 2 de façon à être projetés sur un détecteur D. Le plan de la pupille de sortie  $P_s$  du système optique coïncide avec l'écran froid d'un cryostat de refroidissement C dans lequel est disposé le détecteur D, de sorte que ce dernier ne "voit" que le flux utile provenant du champ d'observation.

L'association entre un objectif grand angulaire du type décrit et un détecteur de type bidimensionnel est appelé dans ce qui suit un module de détection. Un détecteur matriciel classique de  $256 \times 256$  capteurs élémentaires formant un réseau de pas spatial égal à  $50 \mu m$  peut être utilisé dans un tel module ; dans ces conditions, l'objectif possède alors une distance focale de l'ordre de  $8,2 \text{ mm}$  et un diamètre de pupille de sortie de même valeur, pour une ouverture  $F/1$ .

Une association de six modules de détection, tel que celui qui vient d'être décrit constitue une forme de réalisation du dispositif de veille omnidirectionnel selon l'invention. Cette forme de réalisation est représentée à la figure 2. Sur cette figure, chacun des six modules de détection, EF1 à EF6, chaque module est composé d'un objectif grand angulaire, respectivement O1 à O6, et d'un détecteur D1 à D6 ; possède un axe de symétrie qui traverse perpendiculairement et en son centre, une face, respectivement F1 à F6, d'un cube K. Les axes de symétrie de deux ensembles de focalisation opposés sont confondus et forment trois axes X1 X6, X2 X4 et X3 X5 qui se croisent au centre O du cube.

Les cryostats de refroidissement des détecteurs (non représentés) peuvent être soit indépendants, soit regroupés pour ne former qu'un seul système de refroidissement commun. Les circuits de traitement



vidéo des détecteurs forment six séquences d'images visualisées simultanément sur six moniteurs différents, ou bien peuvent, par commutation, former alternativement une des séquences d'images sur un seul moniteur.

5 La réalisation de tels systèmes de refroidissement ou de tels circuits de commutation est à la portée de l'homme du métier.

Selon l'invention, la distorsion de chaque objectif grand angulaire est adaptée pour que les

10 champs objets de deux détecteurs voisins soient jointifs sans se chevaucher. Le schéma de la figure 3 qui représente la couverture angulaire d'un fish eye permet de définir les conditions pour que les champs couverts par deux objectifs voisins soient jointifs. Sur cette

15 figure, a été représenté le cube K précédent, centré au point O, et les sommets MNPQ de la face frontale F3 traversée par l'axe X3OX5 des modules de détection frontale et arrière. Les modules de détection EF1 à EF6 de la figure 2 ne sont pas représentés sur la figure 3

20 pour des raisons de clarté.

Chacun des objectifs grand angulaire doit couvrir un champ minimal pour que la somme de tous ces champs couvre tout l'espace environnant. Ce champ minimal est en même temps maximal pour que les champs explorés par les six modules de détection restent jointifs

25 sans se chevaucher sur  $4\pi$  stéradians. Par exemple sur la figure 3, le module de détection frontale couvre l'angle solide centré sur O et s'appuyant sur les sommets M, N, P, Q du cube K. Dans ces conditions, le demi

30 angle maximal de champ jointif pour l'objectif frontal est défini par l'angle (OX3, ON) et vaut :

$$\theta_{\max} = \text{Arc cos} (1/\sqrt{3}) = 54,735^\circ$$

ce qui correspond à un champ maximal d'ouverture double, c'est-à-dire d'environ  $109,5^\circ$ .

Afin d'obtenir des champs jointifs, l'angle de champ couvert par chacun des objectifs grand angulaire d'un dispositif de veille omnidirectionnelle selon l'invention est modulé en adaptant la distorsion  
5 provoquée par chacun des objectifs grand angulaire.

Une telle adaptation dans l'exemple de réalisation proposée peut résulter d'un calcul basé sur une loi générale de distorsion du type :

10 
$$\rho = k(\theta) \cdot f \cdot \theta$$

dans laquelle

$\theta$  est le demi-angle d'ouverture de champ  
 $k(\theta)$  est un coefficient d'adaptation fonction de  $\theta$   
15  $f$  est la focale paraxiale  
 $k(\theta) \cdot f$  est la focale équivalente  
 $\rho$  est la distance à l'axe d'un capteur élémentaire du détecteur.

20 Un calcul simple de  $k$  pour des valeurs extrêmes de  $\rho$ , c'est-à-dire pour les capteurs élémentaires situés en bordure du détecteur à un sommet et à un milieu des côtés d'un détecteur matriciel supposé carré et supposé disposé près du centre 0, correspondant par  
25 exemple aux ouvertures angulaires de champ respectivement OX3, OP et OX3, OI, montre que le coefficient  $k$  est une fonction faiblement croissante de  $\theta$  de  $0^\circ$  à environ  $55^\circ$  : la distorsion adaptée augmente donc la focale équivalente en bordure de champ, ce qui correspond  
30 à une distorsion de type coussinet. Plus exactement, pour un détecteur matriciel carré de demi-côté  $a$  et pour un capteur élémentaire quelconque de ce détecteur matriciel repéré à l'aide de coordonnées cartésiennes  $y$  et  $z$  par rapport au centre de la mosaïque, le  
35 coefficient  $k$  varie selon la loi suivante :

$$k = \sqrt{y^2 + z^2} / \text{Arc cos} (a / \sqrt{y^2 + z^2 + a^2})$$

Cette loi fournit des valeurs de k proches de 1, en variant de 1,273 pour les capteurs situés en bordure du détecteur matriciel sur les milieux des côtés de la matrice ( $\theta = 45^\circ$ ), à  $k = 1,480$  pour les capteurs situés aux sommets de la matrice ( $\theta = \theta_{\max} = 55^\circ$ ).

Dans ces conditions la loi de distorsion est proche de la loi  $p = f.\theta$  et le champ élémentaire couvert par chaque objectif grand angulaire est alors relativement conservatif : la résolution, qui peut être mesurée, pour une portée donnée, par la dimension du champ élémentaire correspondant à un capteur élémentaire du détecteur via l'objectif grand angulaire, est donc relativement conservatrice c'est-à-dire uniforme le long de chaque champ objet correspondant à chaque objectif grand angulaire. Ainsi, pour un détecteur matriciel de  $256 \times 256$  capteurs élémentaires, supposés jointifs, une résolution angulaire uniforme de  $0,37^\circ$  sur  $4\pi$  stéradians peut être obtenue.

En réalité les capteurs élémentaires des détecteurs bidimensionnels ne sont pas jointifs. Pour des raisons d'ordre technologique, ils sont séparés par des zones aveugles non photosensibles. Pour accéder à l'information perdue par ces zones aveugles, il est connu d'effectuer un microbalayage permettant de capter les flux lumineux normalement destinés à ces zones aveugles mais déviés, grâce à ce microbalayage, sur les capteurs élémentaires photosensibles. De tels microbalayages sont obtenus à l'aide de lames à faces parallèles dont la mise en oeuvre est décrite par exemple dans les brevets FR 2 647 995 ou EP 289 182.

Pour obtenir une couverture totale sans zone de champ aveugle dans l'espace objet, correspondant aux zones aveugles des détecteurs, il est proposé d'adjoindre une lame à faces parallèles dans le flux

convergent de chaque module de détection, par exemple entre la pupille de sortie de chaque objectif grand champ et le détecteur associé, selon une mise en oeuvre particulière illustrée à la figure 4. Sur cette figure, 5 une lame à face parallèle L a une épaisseur e et est inclinée selon un très petit angle  $\alpha$ , exagérément agrandi sur la figure à des fins de clarté. La lame L est entraînée en rotation autour de l'axe optique XX' et est placée en faisceau convergent de chaque objectif 10 grand angulaire du système de veille. Un moteur, par exemple un moteur asynchrone, effectue la rotation de la lame à l'aide d'une pignonerie adaptée.

Cette lame inclinée provoque un décalage des faisceaux optiques. Par exemple le rayon central, 15 RC, représenté par un trait fléché sur la figure 4, est réfracté en traversant la lame à faces parallèles L selon un angle  $\alpha'$  et ressort de la lame avec un décalage  $\Delta$  égal à  $e \sin(\alpha - \alpha') / \cos \alpha'$ . L'angle  $\alpha$  est calculé pour que la rotation de la lame imprime au champ élémentaire, correspondant à chaque capteur élémentaire, une 20 nutation permettant la couverture des zones de champ aveugle. Ceci se traduit par une nutation "virtuelle" correspondante de chaque capteur élémentaire permettant la couverture des zones aveugles situées sur le détecteur. 25

Sur les figures 5a à 5d, ont été représentées quatre positions extrêmes "virtuelles", d'un capteur élémentaire, RSTU, successivement prises au cours de la rotation de la lame à faces parallèles. Les zones 30 hachurées, qui représentent les zones aveugles entourant le capteur élémentaire, sont successivement balayées par portion au cours de la rotation de la lame. L'angle d'inclinaison  $\alpha$  de la lame est calculé pour que, par exemple, le point S effectue la nutation repré-

sentée sur la figure 5a par la courbe circulaire dessinée en pointillés, pendant la rotation de la lame.

Pour adapter la résolution du système à la dimension des capteurs élémentaires "virtuels", l'intégration des charges est effectuée entre les différentes positions extrêmes a, b, c, d de la figure 5. L'intégration se fait alors quatre fois par tour de lame. La cadence de rafraîchissement de l'image complète s'effectuant à chaque tour de lame, la cadence d'exploration est divisée par quatre dans l'exemple de réalisation proposée. Par exemple, pour des temps d'intégration entre chaque passage de l'ordre de 2,5 millisecondes, soit 400 KHz, les cadences d'exploration obtenues sont de 100 KHz, ce qui reste bien supérieur aux performances des systèmes à balayage (de l'ordre de quelques hertz.

Dans le cas où les objets à détecter sont au moins de l'ordre de grandeur de la dimension des capteurs élémentaires, le microbalayage n'est bien entendu plus nécessaire.

## REVENDICATIONS

1 - Dispositif de veille omnidirectionnel à couverture optimale de l'espace environnant par jonction de champs, comportant des moyens optiques de formation d'images sur au moins un détecteur bidimensionnel  
 5 du type CCD capable de délivrer un signal vidéo de visualisation de l'image projetée, caractérisé en ce que les moyens optiques comprenant plusieurs objectifs grand angulaire de type "fisheye" (O1 à O6), chaque objectif grand angulaire étant associé à un détecteur  
 10 bidimensionnel (D1 à D6) pour former un module de détection, en ce que le nombre de modules de détection est adapté à la dimension de l'espace environnant à couvrir, et en ce que chaque objectif grand angulaire possède une loi de distorsion quasi-conservative choisie  
 15 pour rendre jointifs les champs objets limités couverts par deux détecteurs voisins.

2 - Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les modules de détection sont au nombre de (EF1 à EF6), chaque objectif de chaque module  
 20 étant disposé au centre d'une face (F1 à F6) d'un cube (K) afin de couvrir un champ de  $4\pi$  stéradians.

3 - Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la loi de distorsion des objectifs grands angulaires est de la forme  
 25  $c = k.f.O$  dans laquelle

O est le demi-angle d'ouverture de champs,  
 k est un coefficient d'adaptation fonction de la position (y, z) d'un capteur élémentaire dans un détecteur, donné de demi côté égal à a, définissant le  
 30 demi angle d'ouverture O pour ce capteur, avec  

$$k = \sqrt{y^2 + z^2} / \text{Arc cos } (a / \sqrt{y^2 + z^2 + a^2})$$
  
 f est la focale paraaxiale

c est la distance à l'axe optique du capteur élémentaire.

4 - Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est adjoint  
5 dans chaque module de détection une lame à faces parallèles (L) inclinée sur l'axe optique (XX') du module d'un angle  $\alpha$  de faible valeur et entraînée en rotation  
autour de l'axe optique (XX') de sorte que chaque capteur élémentaire de chaque détecteur balaye virtuelle-  
10 ment une zone aveugle entourant le capteur.

5 - Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que la cadence d'intégration des charges de chaque capteur est quatre fois plus élevée que la cadence de rafraîchissement d'image, l'intégration  
15 des charges s'effectuant quatre fois par tour de lame.





FIG.1

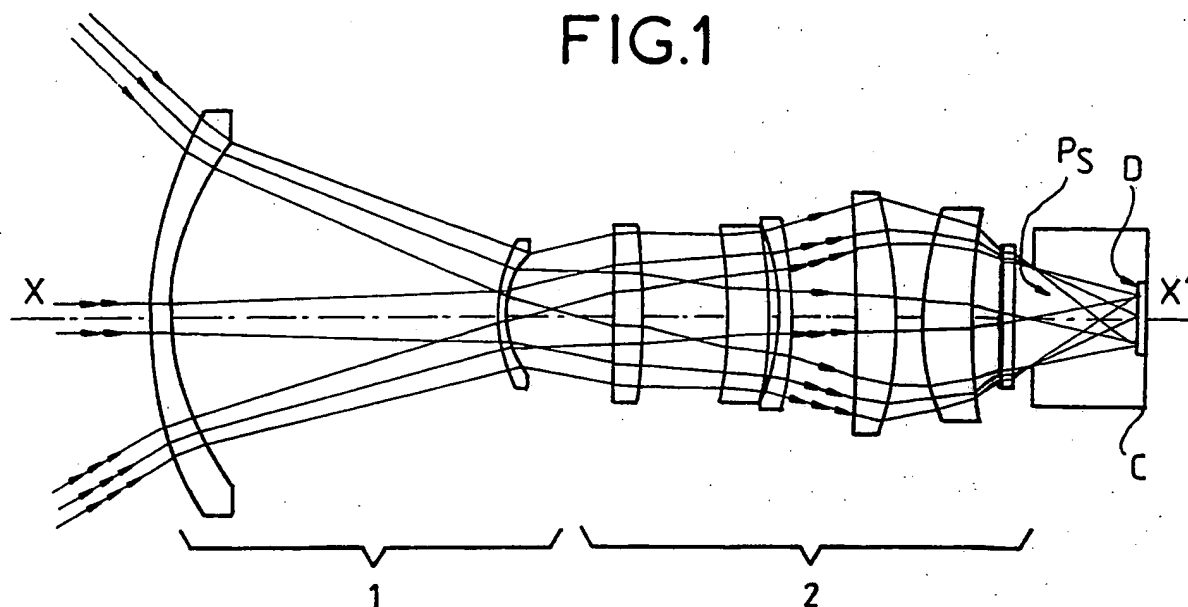
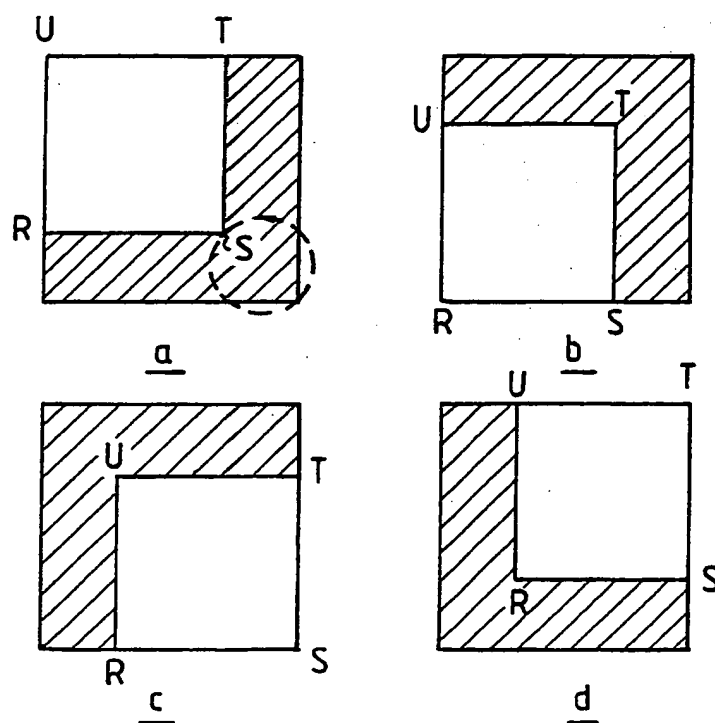
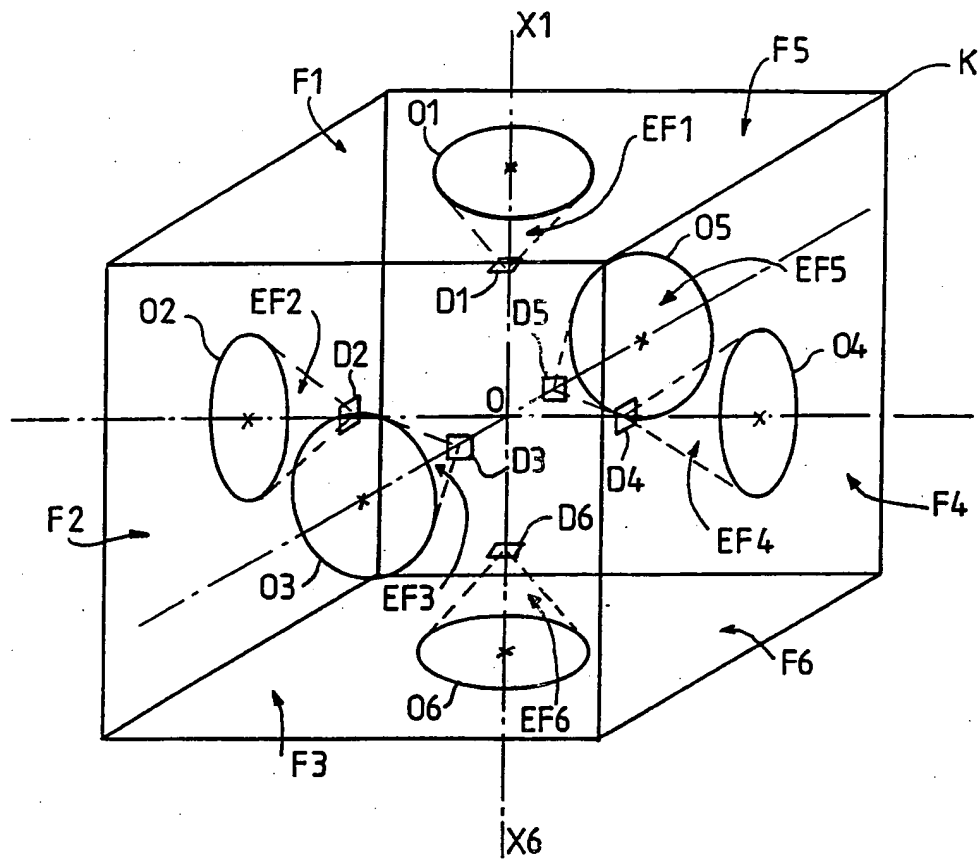


FIG.5





**FIG. 2**



3/3

FIG.3

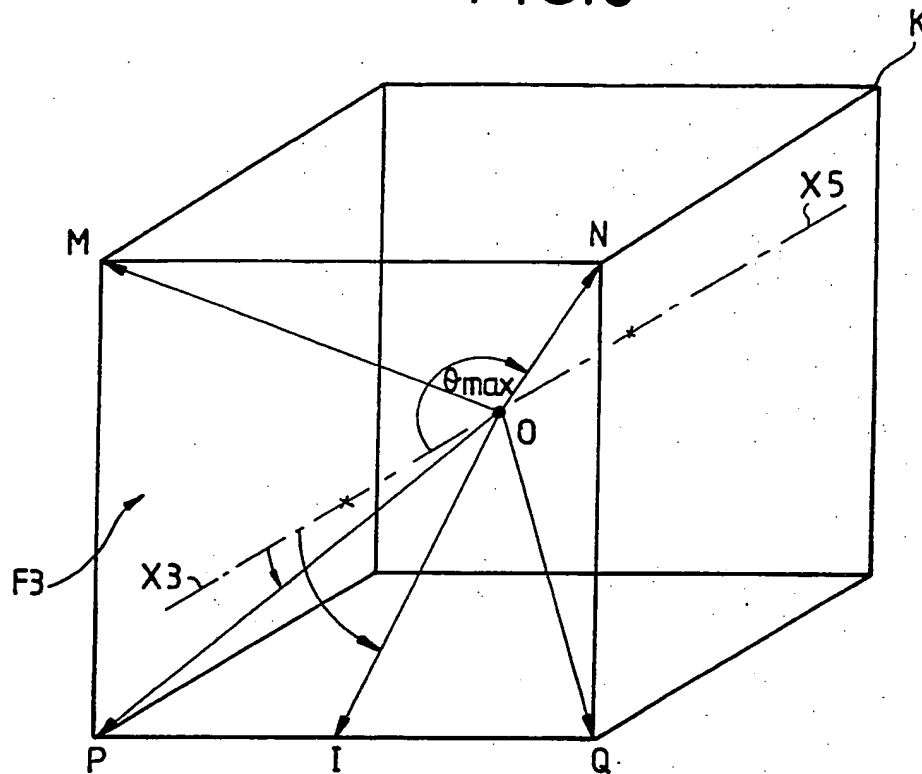
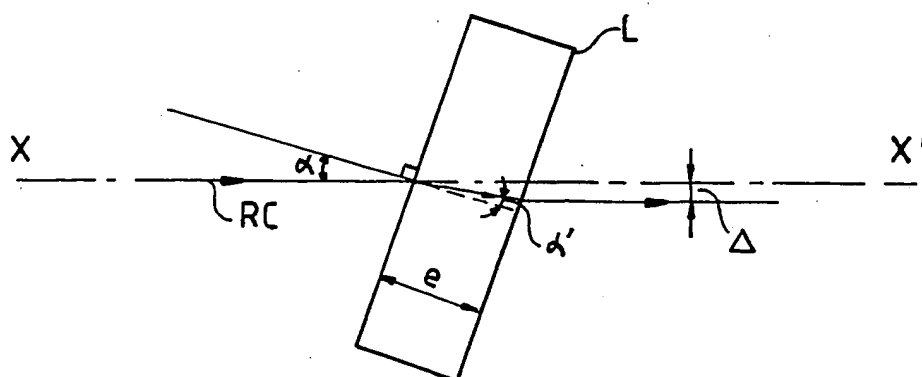


FIG.4





2692369

N° d'enregistrement  
national

**INSTITUT NATIONAL**  
**de la**  
**PROPRIETE INDUSTRIELLE**

## RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FR 9207112  
FA 475291

[illegible]

